

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2013

KUBÍK MARTIN

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Analýza fluktuace výkonů obnovitelných zdrojů energie.**  
**Renewable Energy Sources Power Fluctation Analysis**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Kubík**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Analýza fluktuace výkonu obnovitelných zdrojů.  
Renewable Energy Sources Power Fluctuation Analysis.**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický úvod
2. Meteorologické podmínky v ČR
3. Popis vybraných obnovitelných zdrojů v ČR
4. Analýza provozu vybraných obnovitelných zdrojů
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

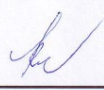
1. Introduction
2. Meteorological conditions in Czech Republic
3. Description of selected renewable energy sources
4. Analysis of renewable energy sources operation
5. Conclusion

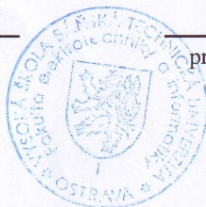
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

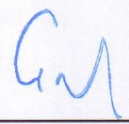
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Ostrava .....

.....

podpis

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Lukáši Prokopovi Ph.D. za jeho snahu, rady, připomínky a čas, který věnoval mě a mé práci. Na tomto místě bych chtěl dále poděkovat svému otci, který mě v průběhu celého studia plně podporoval a motivoval mě.

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava.

Ostrava .....

.....

podpis

## **ABSTRAKT**

Tato práce spočívá ve zpracování dat z měření pěti větrných elektráren na území České republiky v pěti lokalitách. Každá z těchto elektráren byla měřena po celý jeden rok v deseti minutových intervalech, kde se zaznamenával datum, čas, rychlost větru, výkon, celková vyrobená energie, popřípadě poruchové stavy. Hlavním cílem této práce je zanalyzovat kolísání výkonů vybraných pěti VTE, vyhodnotit tyto výsledky pro jednotlivé měsíce či období a následně mezi sebou těchto pět elektráren porovnat.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Větrná mapa, větrná energie, větrná elektrárna, jmenovitý výkon, instalovaný výkon, jmenovité otáčky, fluktuace výkonu, regulace výkonu, rychlost větru

## **ABSTRACT**

This work is based on processing data from measurements of five wind power plants in the Czech Republic in five locations. Each of these plants was measured after one year in ten minute intervals, where the recorded date, time, wind speed, power, total energy generated, or fault conditions. The main objective of this work is to analyze the variation in performance of five selected VTE, assess the results for each month or period and then with each of these five plants compared.

## **KEY WORDS**

Wind map, wind energy, wind power, rated power installed capacity, rated speed, power fluctuations, power control, wind speed, active power

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<b>GW</b>	Gigawatt; jednotka činného výkonu
<b>GWh</b>	Gigawatthodina; jednotka elektrické práce
<b>MW</b>	Megawatt; jednotka činného výkonu
<b>MWh</b>	Megawatthodina; jednotka elektrické práce
<b>VTE</b>	Větrná elektrárna
<b>CO<sub>2</sub></b>	Oxid uhličitý
<b>Hz</b>	Herz; jednotka frekvence
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogram na metr krychlový; jednotka hustoty
<b>kW</b>	Kilowatt; jednotka činného výkonu
<b>kWh</b>	Kilowatthodina (1000 watthodin); jednotka elektrické práce
<b>m/s</b>	Metr za sekundu; jednotka rychlosti



# OBSAH

ÚVOD .....	11
1 Větrné motory .....	12
1.1 Větrné motory pracující na odporovém principu .....	12
1.2 Větrné motory pracující na vztakovém principu .....	12
1.3 Generátor větrné elektrárny .....	13
1.4 Konstrukce větrné elektrárny .....	13
1.5 Rozdělení větrných elektráren .....	14
1.5.1 Malé větrné elektrárny .....	14
1.5.2 Střední a velké větrné elektrárny .....	14
1.6 Způsoby regulace výkonů větrných elektráren .....	15
1.6.1 Regulace výkonů u malých větrných elektráren .....	15
1.6.2 Regulace výkonů u středních a velkých větrných elektráren .....	16
2 Meteorologické podmínky v ČR .....	18
2.1 Větrná mapa .....	18
2.2 Koeficient ročního využití .....	19
2.3 Větrná situace v ČR .....	19
3 Lokalita jednotlivých větrných elektráren .....	20
3.1 Větrná elektrárna Kámen .....	20
3.2 Větrná elektrárna Drahany .....	21
3.3 Větrná elektrárna Lipná .....	22
3.4 Větrná elektrárna Maletín .....	23
3.5 Větrná elektrárna Veselí u Oder .....	24
3.6 Technické parametry větrných elektráren Kámen, Drahany, Lipná, Maletín a Veselí u Oder typu VESTAS V90-2,0 MW .....	25
4 Analýza naměřených dat z větrných elektráren Kámen, Drahany, Lipná, Maletín a Veselí u Oder .....	28
4.1 Průměr ročních rychlostí větrů v lokalitě Kámen, Drahany, Lipná, Maletín a Veselí u Oder ...	28
4.2.1 Průměr rychlostí větrů v jednotlivých měsících v lokalitě větrné elektrárny Kámen .....	29
4.2.2 Průměr rychlostí větrů v jednotlivých měsících v lokalitě větrné elektrárny Lipná .....	30

4.3 Analýza četnosti změn dodávaného činného výkonu za sledovaný časový interval, v průběhu roku 2011.....	31
4.3.1 Dynamika variability činného výkonu větrné elektrárny Veselí u Oder a Maletín .....	31
5 Závěr.....	38
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	39
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	40
SEZNAM TABULEK .....	41
PŘÍLOHA.....	42

## ÚVOD

Na začátku této práce vysvětlím, na jakém principu pracují větrné elektrárny, popíši její hlavní segmenty, konstrukci a podle jakých kritérií se větrné elektrárny dělí. Jaký typ a velikost elektrárny použít pro různé lokality a různá využití. Objasním dnes nejpoužívanější regulace výkonů, aby bylo možné co nejefektivněji využít energie větru. Osvětlím meteorologické podmínky v české republice, z hlediska využití maximálního větrného potenciálu, dále kde se nachází naše největrnější lokality, vývoj instalovaného výkonu za poslední roky a jak se podílí výroba elektrické energie z větrných elektráren na celkové výrobě.

V další části se budu zabývat konkrétními větrnými elektrárnami, které jsou na našem území postaveny a jsou již v provozu několik let. Jedná se větrné elektrárny Lipná, Drahaný, Veselí u Oder, Maletín a Kámen. U těchto elektráren budu analyzovat naměřená data, která byla u každé elektrárny zaznamenávána v časovém intervalu deset minut po celý rok 2011. Takto získané ohromné množství dat pro přehlednost vynesu do grafů a tabulek. Pro analýzu fluktuace výkonu těchto pěti větrných elektráren mě bude hlavně zajímat, jaké jsou podmínky v jednotlivých lokalitách, kde jsou elektrárny vystavěny. Především průměrná rychlost větru a změny rychlosti větru v průběhu roku, jelikož rychlost větru má přímý vliv na výrobu elektrické energie a změny rychlosti větru se projeví v kolísání dodávané elektrické energie do sítě. Do grafu vynesu četnost těchto změn, průměrné rychlosti větru a jeho kolísání, a to v průběhu roku i za jednotlivé měsíce.

V závěrečné části mezi sebou tyto poznatky, z pěti elektráren stejného typu, ale z různých lokalit, porovnam a zhodnotím. Konec obsahuje seznamy, kde jsou uvedeny jednotlivé obrázky, grafy a tabulky uvedené v této práci.

## 1 Větrné motory

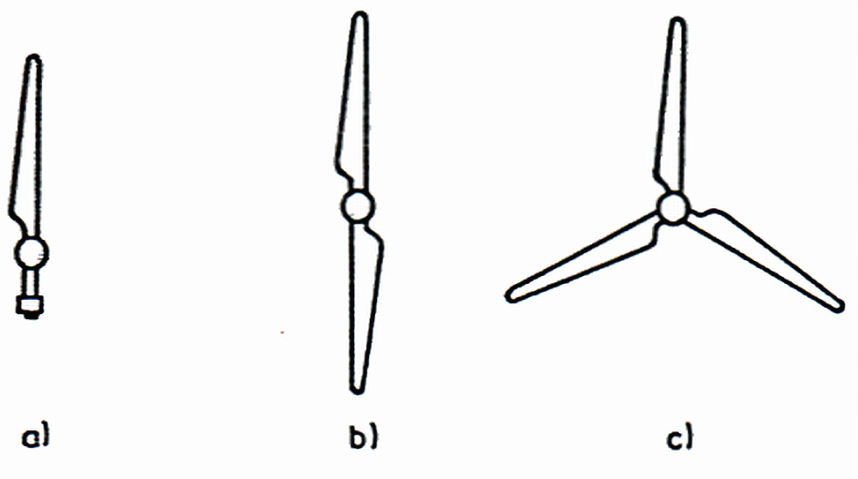
Princip větrných motorů spočívá v přeměně kinetické energie větru na mechanickou práci. Zpomalují proud vzduchu, jenž protéká jejich pracovní plochou, a tím odjímají část jeho energie. Tato mechanická energie je následně přeměněna v energii elektrickou. Větrné motory se dělí podle různých kritérií. Například podle uložení osy rotace na vertikální nebo horizontální, na pomaluběžné, rychloběžné, podle instalovaného výkonu. Nejdůležitějším rozdělením větrných motorů je podle aerodynamického principu na odporové a vztlkové.

### 1.1 Větrné motory pracující na odporovém principu

Větrné motory odporové se v moderní energetice téměř nevyskytují, z důvodů jejich malé účinnosti. Mohou mít svislou i vodorovnou osu otáčení. Obvodová rychlost nesmí být větší než rychlost větru, aby vznikl hnací krouticí moment. Pokud nedochází k odběru energie z hřídele, jsou otáčky na hřídeli úměrné rychlosti větru. Hlavním představitelem tohoto principu je Savoniův motor.

### 1.2 Větrné motory pracující na vztlkovém principu

Mezi větrné motory vztlkové patří vrtule a větrná kola s vodorovnou osou otáčení, ale i s vertikální osou otáčení (typ Darrieus). V dnešní době jsou nejrozšířenějším typem motorů pro přeměnu větrné energie. Vrtule a větrná kola jsou svou rovinou otáčení orientována kolmo ke směru větru. Vrtule jsou nejčastěji vyráběny jako dvoulisté nebo třílisté, ale vyskytují se i čtyřlisté nebo jednolisté s protizávažím.



Obrázek 1 Vztlkové motory a) jednolisté s protizávažím b) dvoulisté c) třílisté

Současná účinnost těchto axiálních rychloběžných motorů dosahuje přes 40%, proto jsou velmi vhodné pro výrobu elektrické energie. Rychlost na konci lopatek může být dvakrát až

desetkrát rychlejší, než rychlost větru. Nevýhodou rychloběžných motorů je jejich rozběhová rychlost, která se pohybuje okolo 5 m/s.

### **1.3 Generátor větrné elektrárny**

Ve větrných elektrárnách se pro výrobu elektrické energie používají synchronní a asynchronní generátory trojfázového střídavého proudu.

Synchronní generátory mají velkou nevýhodu, mohou být provozovány pouze při synchronních otáčkách větrné turbíny, proto se vyrobená elektrická energie musí nejprve usměrnit. Tato stejnosměrná složka se musí poté střídačem převést na požadovanou frekvenci sítě. Na obrázku 3 [4] je fotografie moderního synchronního generátoru používaného ve větrných elektrárnách.

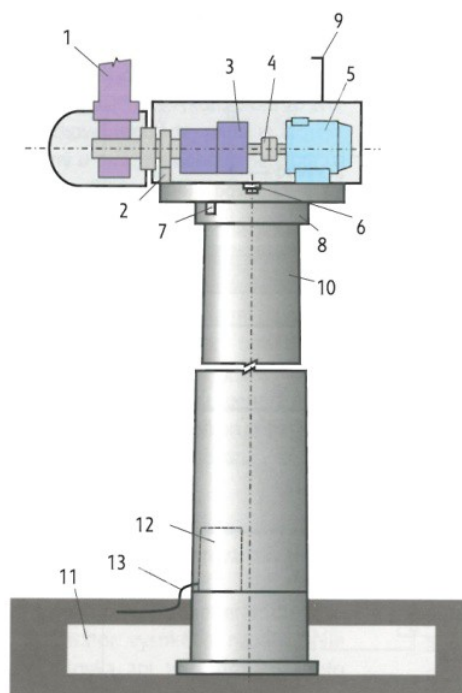
Asynchronní generátory jsou levnější, spolehlivější v provozu a mnohem jednodušší než synchronní generátory. Výhoda těchto strojů spočívá ve snadné regulaci výkonu, jednoduchém rozběhu a bezproblémovém připojení na síť. Naopak nevýhodou asynchronního generátorů je nepřiliš velké rozpětí otáček. Dnes se používají čtyřpólové generátory, které mají při připojení na síť frekvenci 50 Hz a synchronní otáčky 1500 otáček za minutu nebo šestipólové generátory se synchronními otáčkami 1000 otáček za minutu.



**Obrázek 2 Synchronní generátor VTE o výkonu 2 MW. Generované jmenovité napětí 6,3 kV. [4]**

### **1.4 Konstrukce větrné elektrárny**

Větrné elektrárny se skládají z následujících základních částí: 1. větrný motor s rotorovou hlavou, 2. brzda rotoru, 3. převodovka, 4. spojka, 5. generátor, 6. Servopohon pro natáčení strojovny, 7. brzda strojovny, 8. ložiska, 9. senzor pro snímání rychlosti a směru větru, 10. tubus elektrárny (stožár), 11. betonový základ elektrárny, 12. elektrorozvaděče silnoproudého zařízení a řídicího obvodu, 13. Elektrická přípojka. Konstrukce větrné elektrárny je zobrazena na obrázku 4.



Obrázek 3 Konstrukce moderní větrné elektrárny

## 1.5 Rozdělení větrných elektráren

### 1.5.1 Malé větrné elektrárny

Větrné elektrárny s výkonem do 10 kW. Generátorem malých větrných elektráren jsou vícepólové synchronní stroje s permanentními magnety. Vyrobená elektrická energie se nejprve usměrní pomocí usměrňovače, jenž je běžnou součástí zařízení, a poté se s ní dobíjejí akumulátorové baterie nebo napájí autonomní síť. Pokud jsou elektrárny doplněny o střídač, napájí se s nimi malé jednofázové spotřebiče.

Elektrárny s malým instalovaným výkonem se dále dělí do dvou podskupin. A to na VTE s instalovaným výkonem do 2,5 kW, s průměrem vrtule do tří metrů. Jsou používány výhradně pro dobíjení baterií a napájení stejnosměrným napětím v rozmezí 12 – 24 V. Druhou podskupinou jsou VTE s instalovaným výkonem od 2,5 do 10 kW, s průměrem vrtule od tří do osmi metrů. Jsou používány nejčastěji pro ohřev vody, vytápění, případně pro pohon motorů. Výstupní napětí obvykle bývá 48 – 220 V.

### 1.5.2 Střední a velké větrné elektrárny

Mezi větrné elektrárny středních výkonů patří elektrárny s výkonem v rozsahu 60 – 750 kW, s průměrem vrtule 16 – 45 metrů. A mezi velké, elektrárny se jmenovitým výkonem generátoru od 750 do 6400 kW.

## 1.6 Způsoby regulace výkonů větrných elektráren

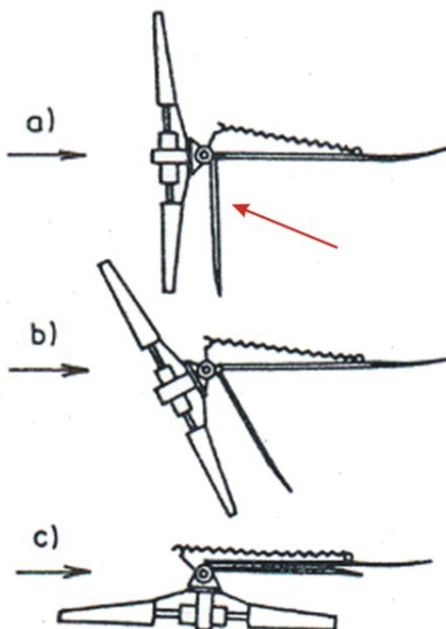
Kvůli nerovnoměrnosti rychlosti větru, je generátor nerovnoměrně zatěžován. Tyto nerovnoměrnosti vyrovnáme regulací otáček rotoru. K výrobě elektrické energie dochází při rychlostech v rozmezí 3 – 5 m/s. Větrné elektrárny jsou navrženy a vyrobeny tak, aby dosáhly jmenovitého výkonu při rychlostech větru okolo 15 m/s. Větší rychlosti větru se v české republice vyskytují zřídka, je proto zbytečné konstruovat větrné elektrárny, tak aby docílili maximálního energetického výnosu při tak vysokých rychlostech. Podle provedení listů nebo lopatek větrných motorů existují dva typy regulačních principů.

- Pro větrné motory s pevnými listy nebo lopatkami
- Pro větrné motory s natáčivými listy

### 1.6.1 Regulace výkonů u malých větrných elektráren

Podmínkou dosažení maximální účinnosti, aby nedocházelo ke ztrátám na výkonu, je správné natočení vrtule do směru větru. To se provádí pomocí směrového kormidla.

Pro regulaci otáček se používá regulační kormidlo. Regulační kormidlo je zařízení, které při vysokých rychlostech naklápí rotor do polohy, kde proud větru roztáčí vrtuli na menší otáčky, a tím je reguluje. Při mezních rychlostech větru, kdy je ohrožen chod elektrárny, se z bezpečnostních důvodů odstaví. Poloha rotoru při odstavení elektrárny je kolmá ke směru větru.



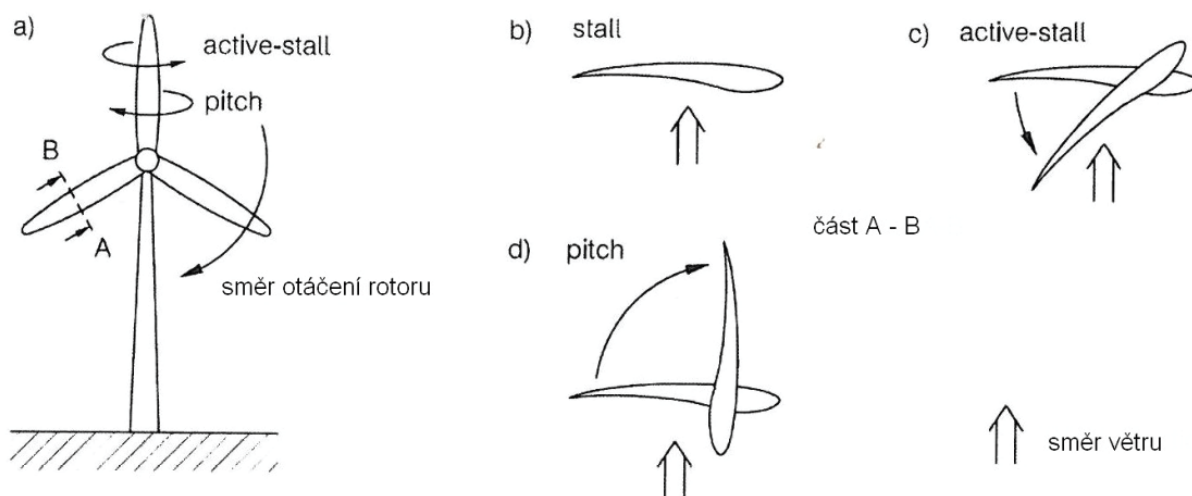
Obrázek 4 Regulace otáček rotoru pro a)bezpečné rychlosti b)vysoké rychlosti c)mezní rychlosti

### 1.6.2 Regulace výkonů u středních a velkých větrných elektráren

Pro regulaci středních a velkých větrných elektráren se v dnešní době používá pět typů regulací. Na obrázku 5 je znázorněn princip tří těchto regulací.

- regulace STALL
- regulace PITCH
- regulace ACTIVE-STALL
- regulace STALL-PITCH
- regulace PITCH-STALL

Větrné elektrárny s regulací PITCH jsou konstrukčně mnohem složitější, než větrné elektrárny využívající regulaci STALL, protože mají navíc systém měnící natočení listů rotoru.



Obrázek 5 Princip regulace PITCH, STALL, ACTIVE-STALL

#### 1.6.2.1 Princip regulace STALL

U regulace STALL dochází k odtržení proudu vzduchu od lopatky. Lopatky vyrobené z elastického materiálu jsou pevně našroubované k hlavě pod předem nastaveným úhlem a aerodynamicky konstruovány tak, aby při vysokých rychlostech větru vznikaly turbulence. Dojde ke snížení vztahové síly, což má za následek pokles výkonu. Nevýhodou této regulace je ztráta výkonu při vysokých rychlostech větru a snížení účinnosti celé elektrárny.



### **1.6.2.2 Princip regulace PITCH**

Jedná se o regulaci natáčením listů kolem své podélné osy. Při vysokých rychlostech větru, začne hydraulický systém natáčet listy ve směru proudění větru a při malých rychlostech natočí listy zpět. K těmto změnám polohy lopatek rotoru dochází průběžně během chodu VTE. Díky tomu nedochází k výraznému kolísání výkonu při změnách rychlosti větru. Nevýhodou je rychlost natáčení listů, je relativně pomalá, proto při velkých změnách rychlosti větru dochází k namáhání generátorů.

### **1.6.2.3 Princip regulace ACTIVE-STALL**

Princip regulace ACTIVE-STALL je téměř shodný s regulací PITCH, s tím rozdílem, že při dosažení limitních hodnot rychlosti větru dojde k natočení listů do opačného směru. Tento, na pohled nepatrný, rozdíl má za následek, stejně jako u regulace PITCH zvětšení náběhového úhlu větru, a tím pokles výkonu. Výhodou natočení listů do opačného směru, než je tomu u PITCH, je velikost úhlu natočení listů, není tak velký, proto reakce na změny větru jsou znatelně rychlejší.

### **1.6.2.4 Princip kombinované regulace STALL-PITCH**

Elektrárna vybavená kombinovanou regulací STALL-PITCH obsahuje konstrukční prvky obou regulací. Při rozběhu generátoru a při nízkých rychlostech větru je preferována regulace PITCH a při limitních rychlostech větru je v činnost uvedena regulace STALL. Pozitivem STALL-PITCH je plynulejší a stabilnější regulace otáček v limitních rychlostech větru a tím i výkonu. Naopak negativem je velká hlučnost a namáhání těchto zařízení. [1]

## 2 Meteorologické podmínky v ČR

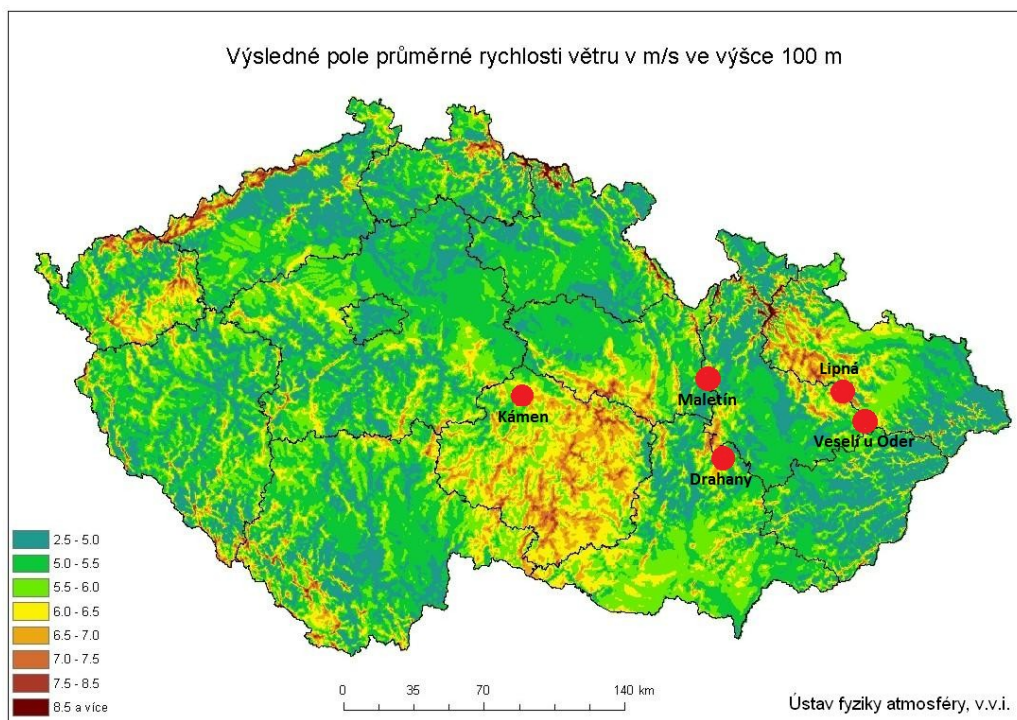
### 2.1 Větrná mapa

Česká republika je vnitrozemský stát, kde nejsou příliš příznivé podmínky pro využití větru – kolísává rychlost větru, časté změny větru, námrazy atd. V dnešní době však existují technologie, které si těmito problémy dokážou poradit.

Nejpodstatnější parametr pro výrobu elektřiny je vítr. Minimální využitelná rychlost větru se většinou pohybuje kolem 3 – 5 m/s. Energie větru roste s třetí mocninou rychlosti větru, to znamená, že při rychlosti větru 10 m/s má vítr téměř desetkrát více energie než při rychlosti 5 m/s. Z bezpečnostních důvodů se však využívá vítr maximálně při rychlostech okolo 20 – 25 m/s, při vyšších se rotor zabrzdí a lopatky se vůči větru nastaví nejužším profilem. Jmenovitý výkon větrná elektrárna dosáhne při rychlostech větru 12 – 14 m/s, podle typu a výrobce. Nad tyto rychlosti již výkon elektrárny nestoupá.

Vítr je brzděn terénními nerovnostmi, tudíž ve větších výškách je rychlost větru vyšší. Rychlost větru roste logaritmicky s výškou nad terénem, proto je dnes trendem stavět větrné elektrárny vysoké 80 – 110 m, s průměrem rotoru 40 – 100 m

Na Obrázku 6 jsou vidět průměrné rychlosti větru v ČR. Nejlepší větrné lokality jsou většinou v horských oblastech a vrchovinách, kde se vítr pohybuje v rychlostech od 6 m/s do 9 m/s. Z toho vyplývá, že větrné elektrárny většinu doby nedosahují jmenovitý výkon.



Obrázek 6 Větrná mapa ČR

## 2.2 Koeficient ročního využití

Vzhledem k tomu, že větrné elektrárny po většinu provozu nedosahují svých jmenovitých hodnot, z důvodů kolísání rychlosti větru, zavádí se takzvaný koeficient ročního využití vyjádřený v procentech. Tento koeficient je definovaný jako poměr skutečně vyrobené energie k energii, kterou by elektrárna vyrobila, kdyby pracovala nepřetržitě celý rok, na plný jmenovitý výkon.

$$k_{r\%} = \frac{W_{skut}}{W_{max}} \cdot 100 = \frac{W_{skut}}{P_t \cdot 8760} \cdot 100 \quad [\%; kWh; kWh]$$

$k_{r\%}$  - koeficient ročního využití vyjádřený v procentech

$W_{skut}$  - skutečná vyrobená energie za rok

$W_{max}$  - maximální možná vyrobená energie

$P_i$  - je instalovaný výkon.

## 2.3 Větrná situace v ČR

Instalovaný výkon všech funkčních větrných elektráren v ČR ke konci roku 2011 činil 217 MW a vyrobili celkem 397 GWh. Při maximálním využití větrného potenciálu České republiky, se dá teoreticky vyrobit větrnými elektrárnami 1000 až 3000 GWh ročně. Při srovnání například s jadernou elektrárnou Dukovany (instalovaný výkon 1970 MW v roce 2012), která vyrobila od začátku roku 2012 přibližně 13 300 GWh a celkovou vyrobenou elektrickou energií v ČR přibližně 78 000 GWh ročně, je patrné že podíl vyrobené elektrické energie VTE (i při maximálním využití větrného potenciálu ČR) je téměř zanedbatelný. V tabulce 1 je přehledně vidět vývoj větrné energetiky za posledních osm let. [1]

Funkční větrné elektrárny – instalovaný výkon a výroba v jednotlivých letech								
Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Výkon (MW)	17	28	54	116	148	192	215	217
Výroba (GWh)	8,3	21,3	49,4	125	245	290	336	397

Tabulka 1 Instalovaný výkon a výroba v jednotlivých letech [2]

### 3 Lokalita jednotlivých větrných elektráren

#### 3.1 Větrná elektrárna Kámen

Větrná elektrárna byla na Havlíčkobrodsku postavena v prosinci roku 2007. Nachází se na katastrálním území obce Kámen v nadmořské výšce 527 metrů nad mořem. Obec má přibližně 400 obyvatel. Elektrárna, ale dokáže vyrobit elektrickou energii pro zhruba 3600 lidí, to znamená, že dokáže pokrýt spotřebu elektrické energie dalším přibližně osmi takovým obcím jako je Kámen. Celkové náklady na výstavbu elektrárny činily 81,7 miliónu korun a životnost se odhaduje na 20 let.



Obrázek 7 Větrná elektrárna Dražany vyznačená na mapě

#### Zeměpisné souřadnice:

49° 43' 2" s. š.,

15° 31' 16" v. d.



Obrázek 8 Větrná elektrárna Kámen

### 3.2 Větrná elektrárna Drahany

Obec Drahany s nadmořskou výškou 626 metrů nad mořem se nachází v Olomouckém kraji v okrese Prostějov. Počet obyvatel nepřevyšuje 600 obyvatel. Větrná elektrárna vyrobí elektrickou energii pro více než 3100 obyvatel. Náklady na výrobu a výstavbu této větrné elektrárny se vyšplhaly na 81 miliónů korun. Elektrárna je v provozu od poloviny února roku 2007.



Obrázek 9 Větrná elektrárna Drahany vyznačená na mapě ČR

#### Zeměpisné souřadnice:

49° 25' 52" s. š.,  
16° 53' 37" v. d.



Obrázek 10 Větrná elektrárna Drahany

### 3.3 Větrná elektrárna Lipná

Větrná elektrárna se nachází ve vesnici Lipná, která je součástí obce Potštát, nacházející se v okrese Přerov. Tato vesnice má necelých 60 obyvatel. Investice vložené do projektu byly 81,6 milióny korun, což je o 600 tisíc korun více než celkové náklady u větrné elektrárny stejného typu a parametrů v Drahanech. Příčinou může být dostupnost této obce z hlediska dopravy montážních strojů a samotných komponentů, ale také fakt, že projekci a výstavbu prováděla jiná firma.



Obrázek 11 Větrná elektrárna Lipná vyznačená na mapě ČR

#### **Zeměpisné souřadnice:**

**49° 39' 54" s. š.,  
17° 41' 32" v. d.**



Obrázek 12 Větrná elektrárna Lipná

### 3.4 Větrná elektrárna Maletín

V březnu roku 2008 byla v obci Maletín uvedena do provozu další větrná elektrárna typu VESTAS V90-2,0 MW. Obec, s počtem obyvatel nepřevyšující 400 a nadmořskou výškou 455 metrů nad mořem, se nachází v okrese Šumperk na Moravě. Elektrárna pokryje spotřebu elektrické energie 2900 lidí. Životnost bývá u tohoto typu elektrárny okolo dvaceti let a už za pouhých šest měsíců provozu vyrobí tolik elektrické energie, kolik bylo spotřebováno na její výrobu. Celkové náklady na tento projekt byly 83 mil. Kč.



Obrázek 13 Větrná elektrárna Maletín vyznačená na mapě ČR

#### Zeměpisné souřadnice:

49° 47' 55" s. š.,

16° 47' 33" v. d.



Obrázek 14 Větrná elektrárna Maletín



### 3.5 Větrná elektrárna Veselí u Oder

Poslední větrné elektrárně, které se budu věnovat, se nalézá v okrese Nový Jičín, konkrétně v obci Veselí u Oder, která je součástí obce Odry. V provozu je od 15. 2. 2007. Plánovaná výtěžnost větrného parku je v průměru 7 GWh ročně. Větrný park obsahuje dvě totožné větrné elektrárny, každá s instalovaným výkonem 2 MW. Jestliže bude park v provozu 20 let, vyrobí tolik elektrické energie, kolik by tepelná elektrárna vyrobila z 180 000 tun uhlí. Takové množství uhlí by naplnilo 3600 vagónů. Bylo by vyprodukováno 200 000 tun oxidu uhličitého a vytěženo 5000 tun vápence nutného k odsíření teplárny. K odstranění takového množství CO<sub>2</sub> je zapotřebí 1600 ha vzrostlého lesa.



Obrázek 15 Větrná elektrárna Veselí vyznačená na mapě ČR

#### Zeměpisné souřadnice:

49° 38' 24" s. š.,  
17° 48' 20" v. d.

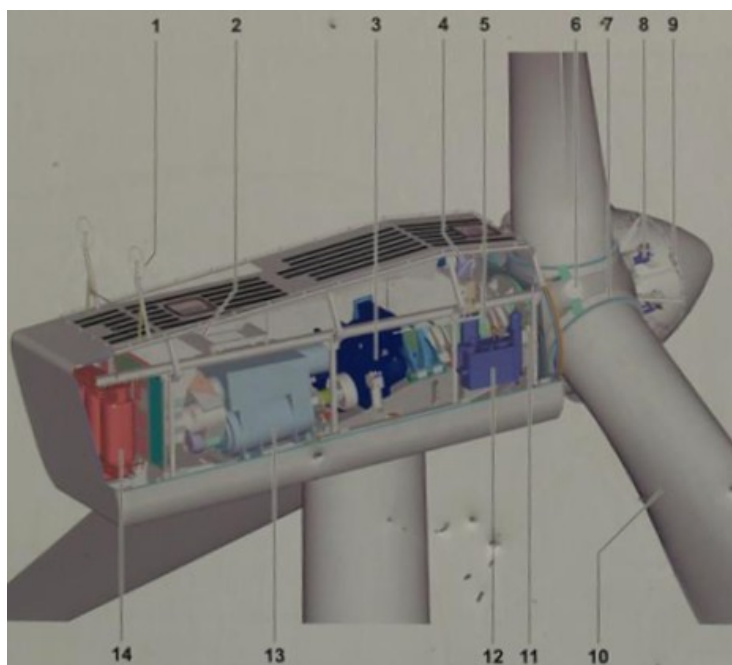


Obrázek 16 Větrná elektrárna Veselí u Oder



### 3.6 Technické parametry větrných elektráren Kámen, Drahaný, Lipná, Maletín a Veselí u Oder typu VESTAS V90-2,0 MW

Větrné elektrárny VESTAS V90 v provedení 2 MW patří mezi produkty značící se anglickou zkratkou BAT, (nejlepší možná technologie). Z hlediska instalovaného výkonu, se řadí do kategorie velkých. Jedná se o větrné elektrárny s převodovkou, s věží vysokou průměrně 100 metrů. Tento typ má třílistý rotor s průměrem 90 metrů vybavený aktivním směřováním větru a díky tomu se dokáže natáčet až o 360°. Nastavení gondoly do směru větru mají za úkol čtyři elektricky poháněné převodovky. Pro plynulou a stabilní výrobu elektrické energie využívá elektrárna systém OptiSpeed, který je schopen pracovat s počtem otáček rotoru v rozmezí od 8,2 do 14,9 za minutu. Pro lepší přizpůsobení větrným podmínkám, je elektrárna vybavená regulačním systémem OptiTip, pro natáčení listů (regulace PITCH), také od firmy VESTAS. Tento systém natáčí, pomocí hydraulického systému, listy rotorů axiálně až o 95° a výrazně tak přispívá ke zvýšení výroby elektrické energie. Regulace má také za následek snížení hlukových emisí, což je podstatné pro splnění hygienických limitů, hlavně v nočních hodinách, kdy tato hodnota nesmí překročit 40 dB. Listy rotoru jsou vyrobeny z epoxidové pryskyřice vyztužené skelným vláknem. Oba zmíněné systémy minimalizují nežádoucí kolísání v napájecí síti.



#### Hlavní segmenty stroje:

- 1 Ultrazvuková čidla větru
- 2 Servisní jeřáb
- 3 Převodovka
- 4 Chladič oleje
- 5 Hlavní hřídel
- 6 Náboj rotorového listu
- 7 Ložisko rotorového listu
- 8 Hydraulické pohony natáčení
- 9 Řízení natáčení listů
- 10 Rotorový list
- 11 Systém aretace rotoru
- 12 Hydraulická jednotka
- 13 Generátor
- 14 Vysokonapětový transformátor

Obrázek 17 Průřez gondolou VESTAS V90-2,0 MW

Převodovku tvoří kombinovaný jednostupňový planetový převod a dvoustupňový čelní ozubený převod. Výkon na hlavním hřídeli se přenáší na čtyřpólový asynchronní generátor s pomocí kompozitní spojky. Další důležité parametry větrné elektrárny VESTAS V90 jsou uvedeny níže v tabulce 2.

**VESTAS V90-2,0 MW**

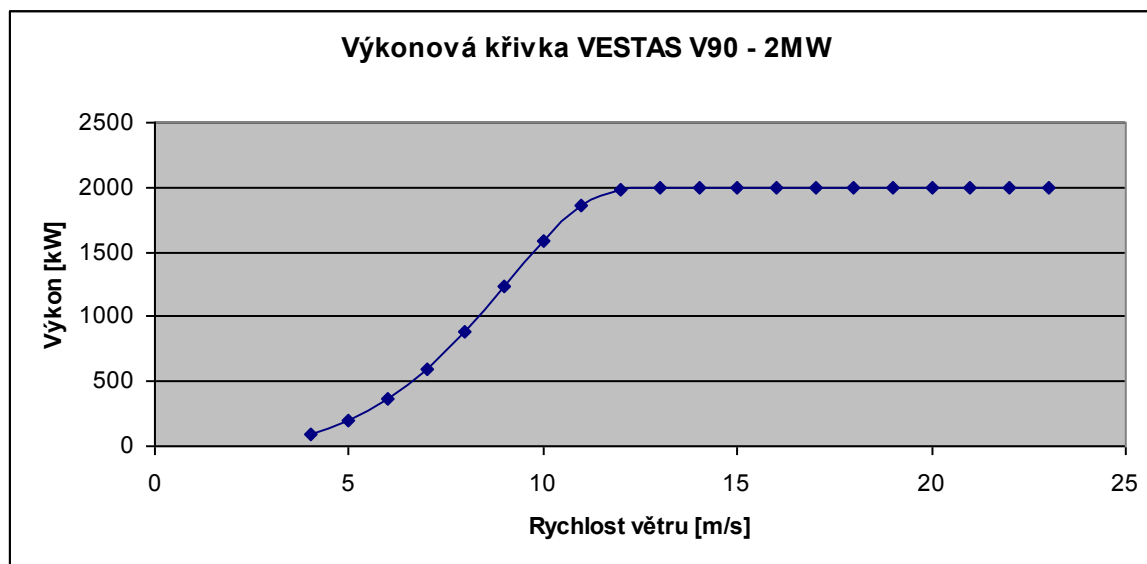
Jmenovitý výkon	2 MW
Průměr rotoru	90 metrů
Počet listů	3
Výška hlavy rotoru	105 metrů
Obsáhnutí plochy	6.362 m <sup>2</sup>
Otáčky rotoru	8,2 – 14,9 ot/min
Max. otáčky rotoru při nadměrné okamžité intenzitě větru po dobu 10 minut	17,3 ot/min.
Startovací rychlost větru	4 m/s
Jmenovitá rychlost větru	15 m/s
Vypínací rychlost větru	25 m/s
Opětovná startovací rychlost	23 – 20 m/s
<b>Generátor</b>	
Jmenovitý výkon	2 MW
Typ	asynchronní - OptiSpeed®
Napětí	690 VAC
Frekvence	50 Hz
<b>Převodovka</b>	
Typ	kombinovaný 1- stupňový planetový převod / 2 - stupňový čelní ozubený převod
<b>Věž</b>	
Konstrukce	kónická, trubková věž z oceli
Průměr dole / nahoře	4,15 m / 2,3 m
Základ	základová deska železobeton 15,35 x 15,35 x 2 metry
<b>Rotor</b>	
Konstrukce	návětrný rotor se třemi nastavitelnými listy
Materiál listů	polyester/epoxidová pryskyřice, vyztužená skelnými vlákny, délka 44 metrů
<b>Hmotnosti</b>	
Věž	231 t
Strojovna	68 t
Rotor	36,3 t
<b>Celkem</b>	<b>335,3 t</b>

Tabulka 2 Technické parametry VESTAS V90 - 2 MW [3]

Na okamžité rychlosti větru v dané výšce je závislý okamžitý výkon větrné elektrárny. V lokalitách, kde je těchto pět větrných postaveno, je využitelnost větru přibližně 25 %. Křivka, kde elektrický výkon v kW je funkcí rychlosti větru v m/s, je uvedena níže v grafu na obrázku 4.12. Rychlost větru byla měřena ve výšce hlavy rotoru s konstantní hustotou vzduchu  $1,225 \text{ kg/m}^3$ . Výkon byl měřen na nízkonapěťové straně transformátorů. Ztráty na transformátoru a vysokonapěťových vedeních byly zanedbány. [6]

Rychlost větru [m/s]	Výkon [kW]	Rychlost větru [m/s]	Výkon [kW]
4	90	14	2000
5	201	15	2000
6	366	16	2000
7	595	17	2000
8	891	18	2000
9	1236	19	2000
10	1584	20	2000
11	1859	21	2000
12	1975	22	2000
13	1998	23	2000

Tabulka 3 Výkony v kW pro jednotlivé rychlosti větru v m/s



Obrázek 18 Výkon [kW] větrné elektrárny v závislosti na rychlosti větru [m/s]

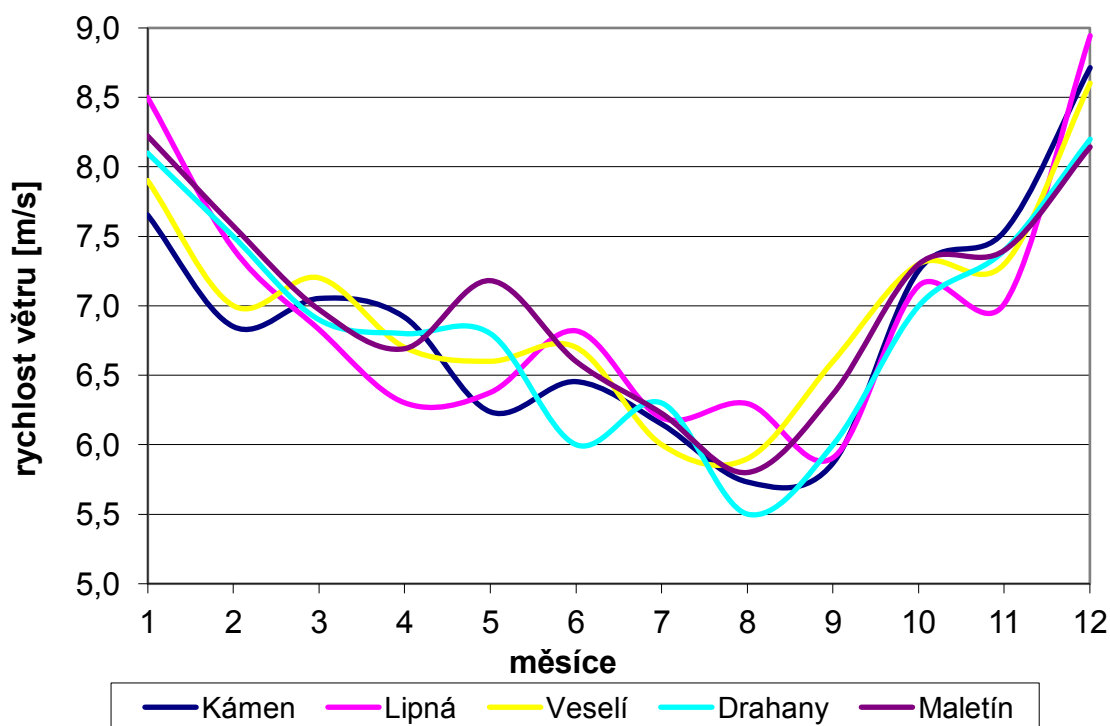
## 4 Analýza naměřených dat z větrných elektráren Kámen, Drahaný, Lipná, Maletín a Veselí u Oder

V této kapitole se zaměřím podrobněji na jednotlivé větrné elektrárny. Budu se zabývat jednotlivými elektrárnami z hlediska meteorologických podmínek, především však rychlostmi větru v daných lokalitách a kolísáním těchto rychlostí, a tím i kolísáním dodávaného výkonu. Do grafů vynesu průměrné roční i měsíční rychlosti větru ve vybraných lokalitách a následně porovnáím mezi sebou.

Ve zbytku kapitoly se zaměřím na samotnou analýzu fluktuace výkonů výše uvedených větrných elektráren. Ke zpracování použiji naměřená data, která byla zaznamenávána v deseti minutových intervalech v průběhu celého roku 2011 ve všech zmíněných elektrárnách.

Získaná data budu zpracovávat v programu Microsoft Excel, kde budu vykreslovat veškeré grafy a provádět všechny výpočty.

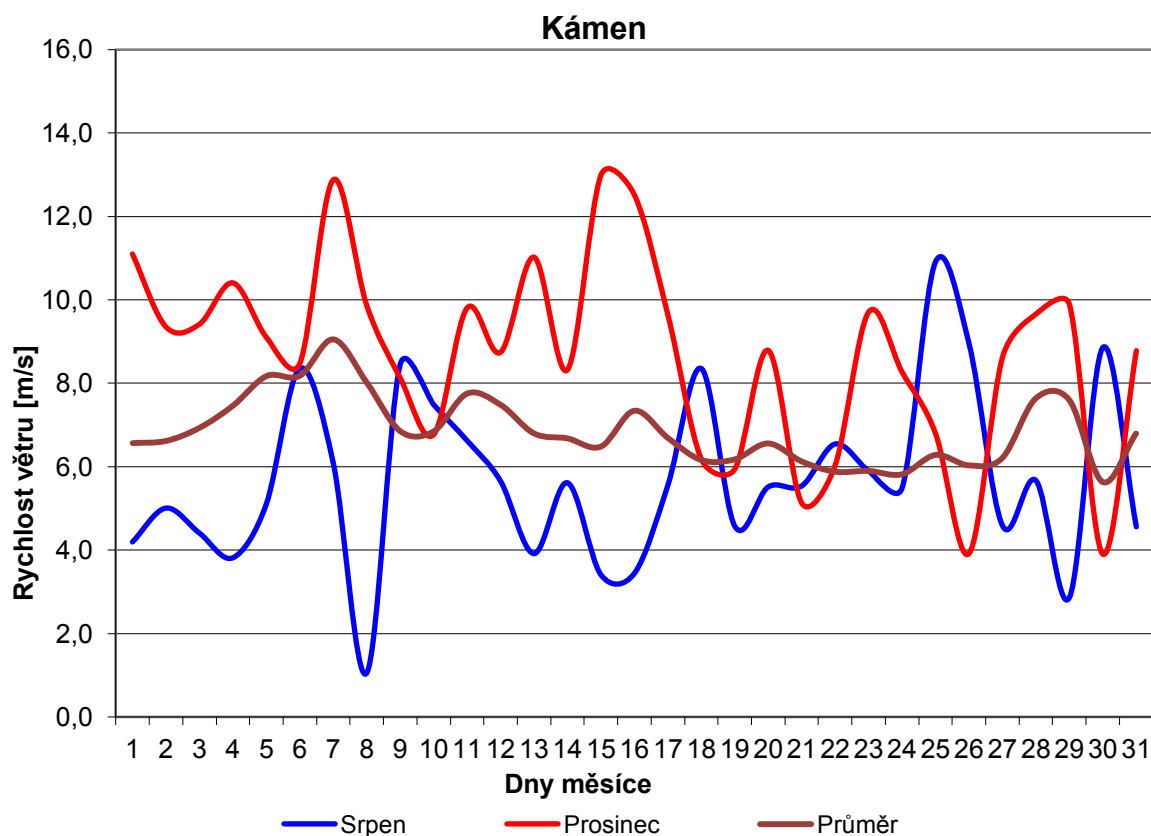
### 4.1 Průměr ročních rychlostí větrů v lokalitě Kámen, Drahaný, Lipná, Maletín a Veselí u Oder



Obrázek 19 Rychlost větru v průběhu roku v jednotlivých lokalitách

Zpracováním naměřených dat z pěti větrných elektráren v různých lokalitách České republiky vyplývá, že rychlost větru je nejvyšší v zimních měsících a to od začátku měsíce listopadu do konce měsíce února, kdy se rychlost pohybovala v rozmezí 7 – 9 m/s. Od uvedeného měsíce února rychlost větru klesá k nejnižší hodnotě v měsíci srpnu, a to k hodnotě 5,5 m/s, což je u tohoto typu větrné elektrárny téměř startovací rychlost. Poté rychlost větru opět pozvolně vzrůstá k nejvyšším naměřeným hodnotám. Z grafu je dále patrné, že průměrné rychlosti větru v jednotlivých měsících a lokalitách Kámen, Lipná, Veselí, Drahaný, Maletín se různí v konkrétních hodnotách, ale v širším nadhledu je průměrná rychlost v této oblasti téměř stejná. Sběr dat pro vytvoření grafu probíhal v období od 1. 1. 2011 do 31. 12. 2011.

#### 4.2.1 Průměr rychlostí větrů v jednotlivých měsících v lokalitě větrné elektrárny Kámen

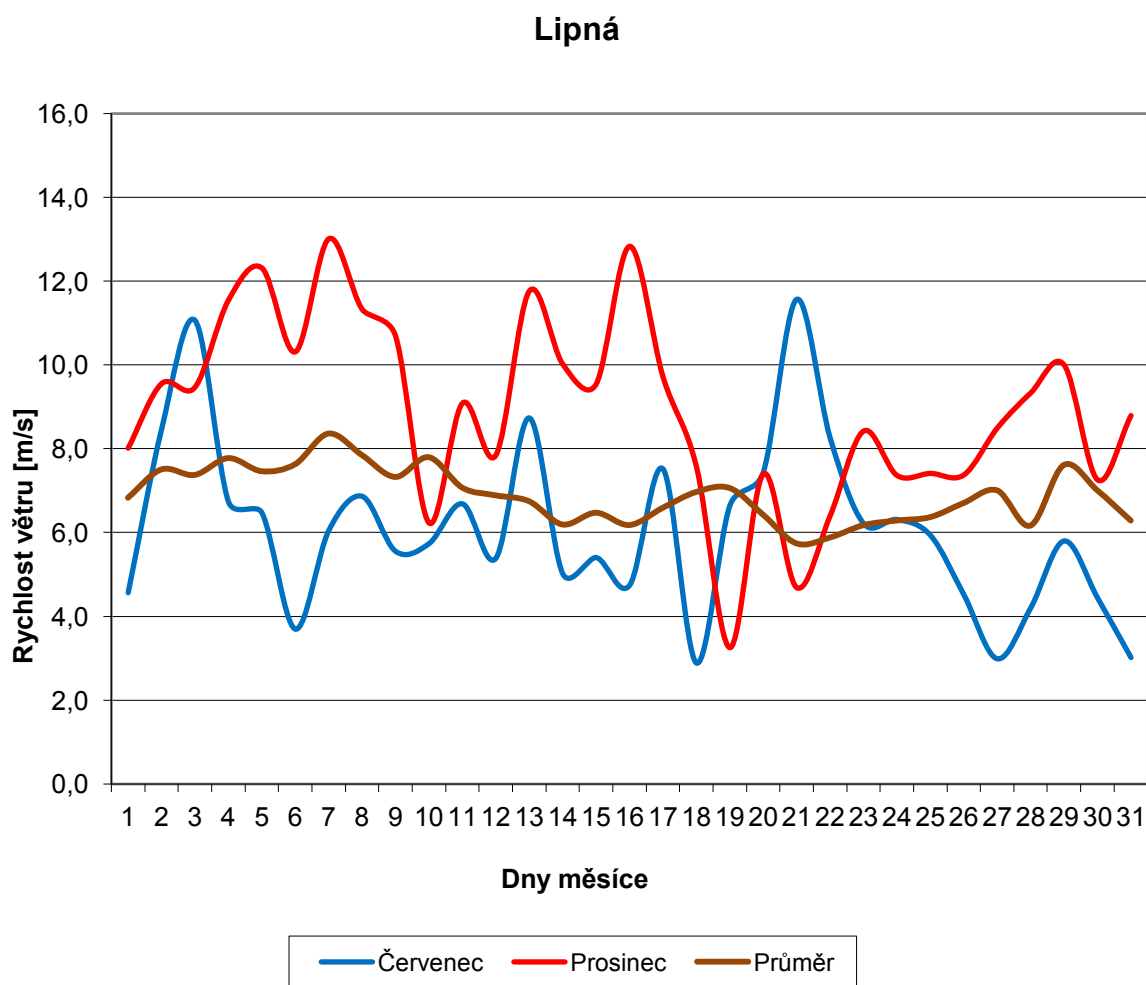


Obrázek 20 Průměr rychlostí větrů v jednotlivých měsících v lokalitě větrné elektrárny Kámen

V grafu na obrázku 20 jsou vyobrazeny průběhy, jak se vyvíjela rychlost větru v jednotlivých dnech v průběhu měsíce Srpena a Prosince roku 2011. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v Prosinci, kde se rychlost větru vyšplhala k 13 m/s, a naopak nejnižší hodnoty byly

zaznamenány v měsíci Srpnu, přesněji 8. 8., kdy se rychlost větru za celý den nestoupala nad 2 m/s, tedy téměř bezvětří.

#### 4.2.2 Průměr rychlostí větrů v jednotlivých měsících v lokalitě větrné elektrárny Lipná



Obrázek 21 Průměr rychlostí větrů v jednotlivých měsících v lokalitě větrné elektrárny Lipná

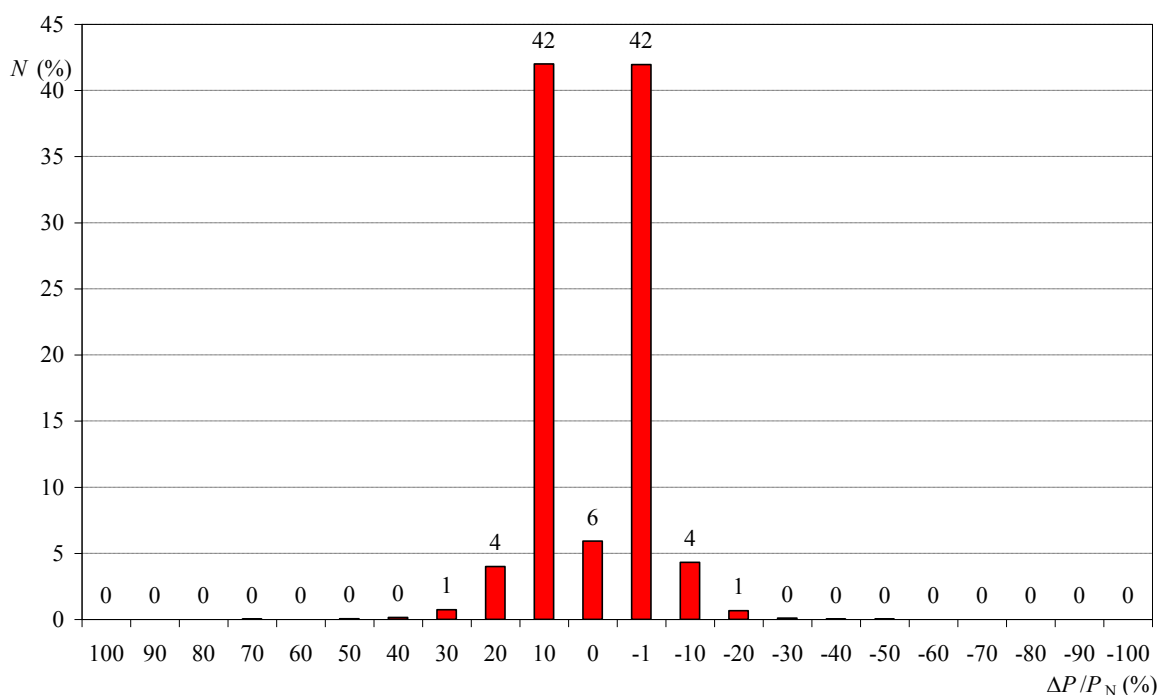
V druhém grafu na obrázku 21 jsou opět uvedeny průběhy rychlosti větru v lokalitě větrné elektrárny Lipná, kde je vyobrazen vývoj větru v jednotlivých dnech měsíce Červenec a Prosinec roku 2011. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny opět v měsíci Prosinec konkrétně 13 m/s, což je stejně jako v předchozím případě, a nejnižší pak opět v Srpnu, kde tato hodnota neklesla pod 3 m/s.

### 4.3 Analýza četnosti změn dodávaného činného výkonu za sledovaný časový interval, v průběhu roku 2011

Analýza četnosti změn dodávaného činného výkonu za sledovaný časový interval, se nazývá odborně dynamika variability činného výkonu. Znamenávání těchto změn je nezbytné pro určení stability sledované soustavy. Zmíněný časový interval změn je z hlediska přesného vyhodnocení důležitým parametrem, proto je třeba ho vhodně zvolit. Čím bude tento interval hodnocení kratší, tím budou menší jednotlivé odchylky dodávaného výkonu a naopak.

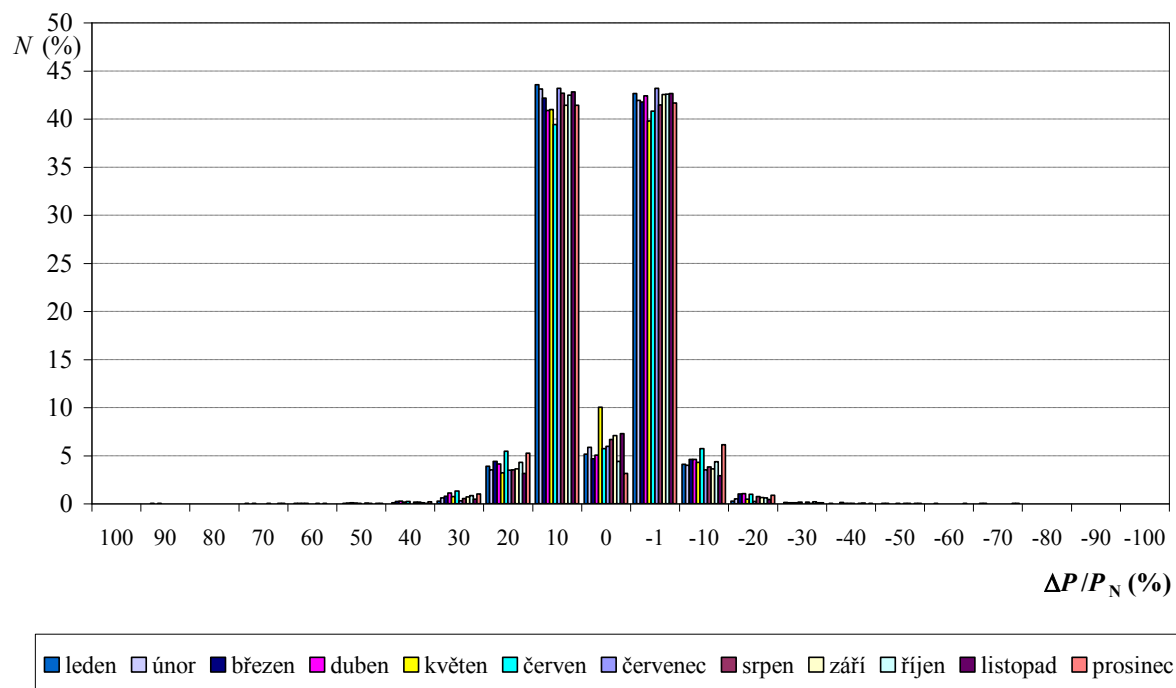
Naměřená data z větrných elektráren Kámen, Drahaný, Lipná, Maletín a Veselí u Oder byla zaznamenávána v časovém intervalu deseti minut po celý rok 2011. Vyjádření velikosti změn výkonu je v následujících čtyřech grafech pomocí procentuálního rozdělení instalovaného výkonu na ose x k počtu událostí v procentech na ose y.

#### 4.3.1 Dynamika variability činného výkonu větrné elektrárny Veselí u Oder a Maletín

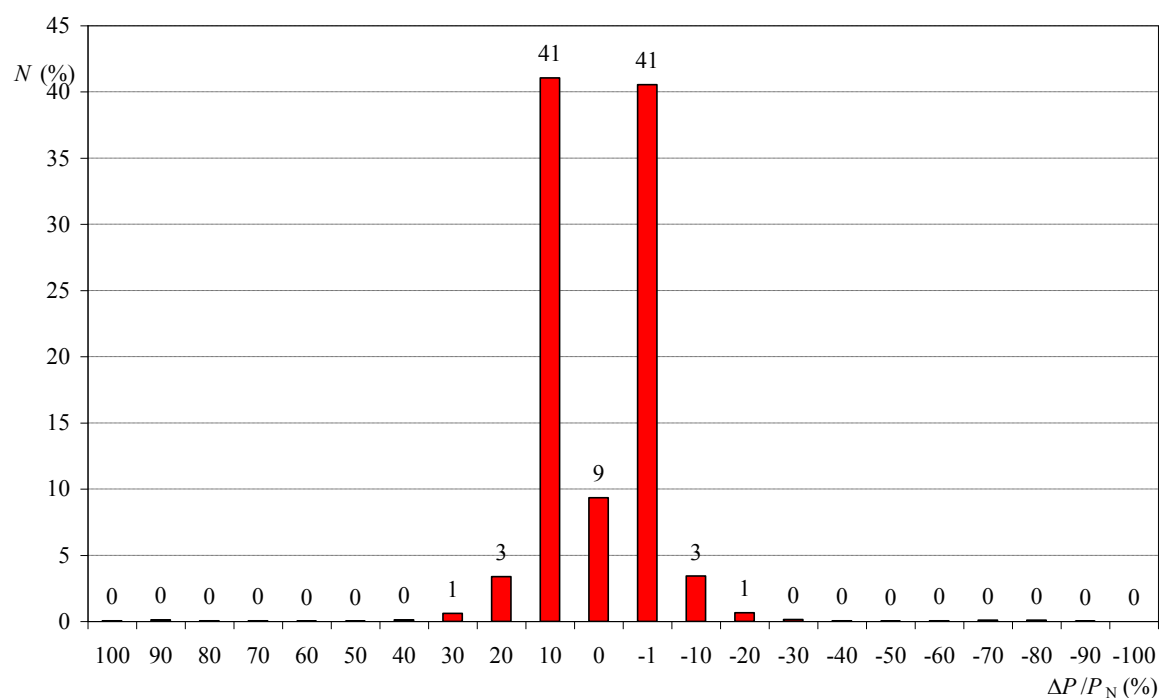


Obrázek 22 Procentuální vyjádření změn výkonu Veselí u Oder za rok 2011

Kladné hodnoty na ose x znamenají nárůst dodávaného výkonu v procentech a záporné hodnoty pokles výkonu v procentech. Z grafu na obrázku 22 a 24 je patrné, že se v téměř 95 % dodávaný výkon nezmění o více než 10 %, za časový interval deset minut. Kdyby byl tento interval změn například hodinový, byly by tyto změny podstatně výraznější.

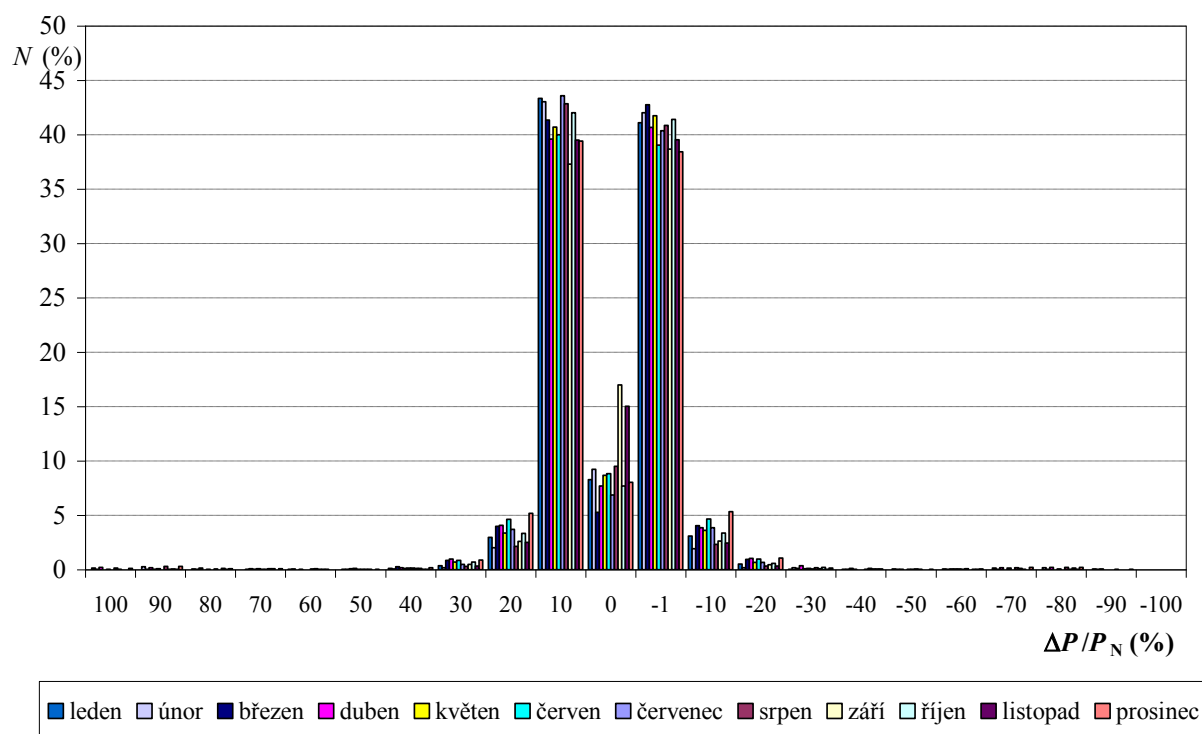


Obrázek 23 Četnost změn výkonů VTE Veselí u Oder pro jednotlivé měsíce v rozsahu  $\pm 100$  %.



Obrázek 24 Procentuální vyjádření změn výkonu Maletín za rok 2011



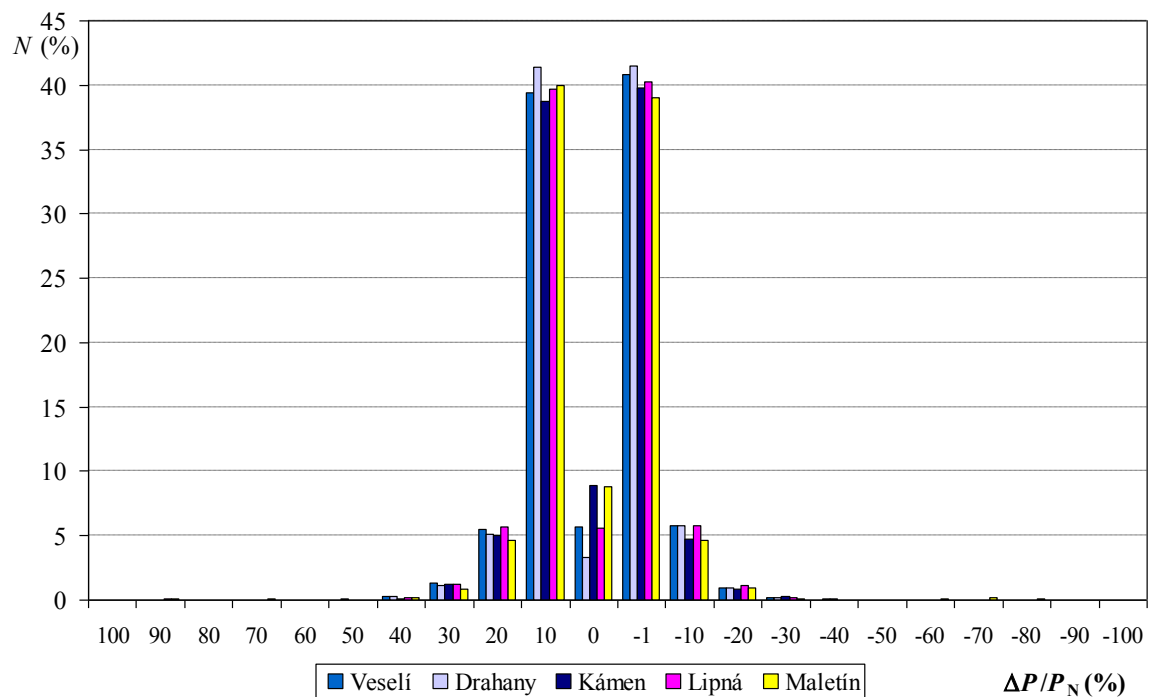


Obrázek 25 Četnost změn výkonů VTE Maletín pro jednotlivé měsíce v rozsahu ± 100 %.

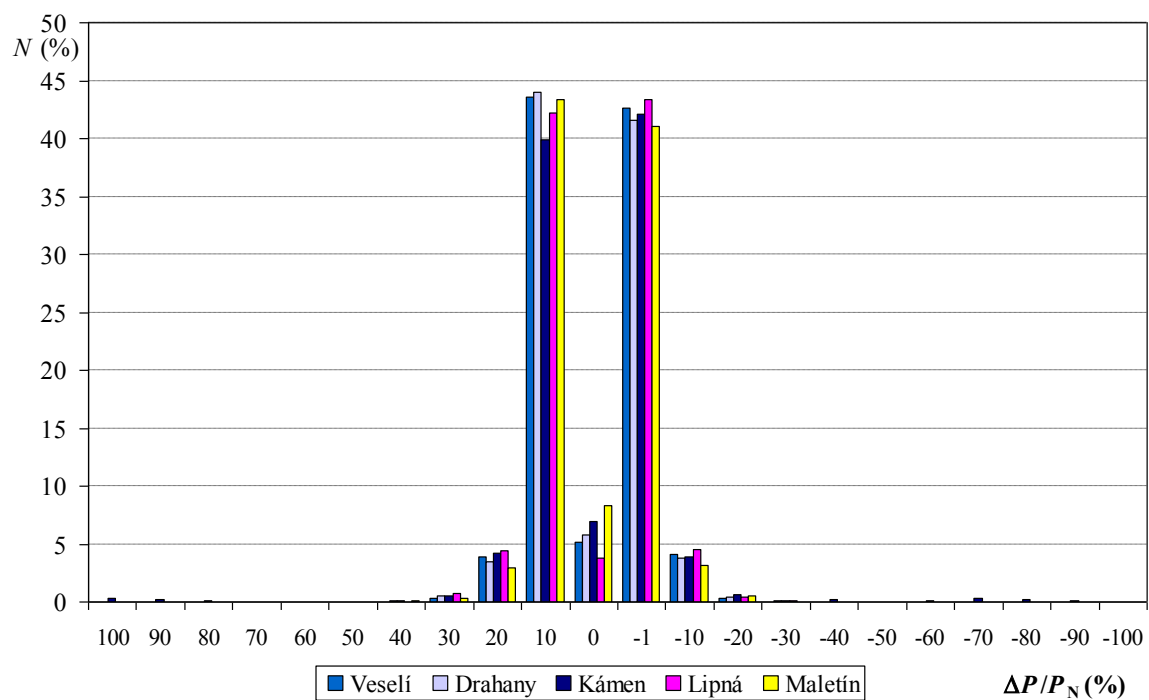
U změn například označených +30 % znamená, že došlo k nárůstu výkonu v rozmezí 20 % až 30 %, což v konkrétních hodnotách znamená nárůstu výkonu od 440 do 660 kW za sledovaný časový interval. Tento způsob procentuálního vyjádření změn výkonu, tudíž způsobuje zkreslení těchto přesných naměřených dat. Stejně tak tomu je i u osy x definované absolutními změnami výkonu, kde například hodnota -200 kW v grafu na obrázku 29 znamená pokles výkonu v rozmezí 100 až 200 kW.

V grafech na obrázcích 23 a 25 je zobrazena četnost změn výkonů v rozsahu ± 100 % instalovaného výkonu k počtu událostí, vyjádřených také v procentech. Četnost změn je zde vykreslena pro jednotlivé měsíce roku 2011, vždy pro jednu větrnou elektrárnu, a to pro VTE Maletín a Veselí u Oder, zbylé tři jsou umístěny v příloze.

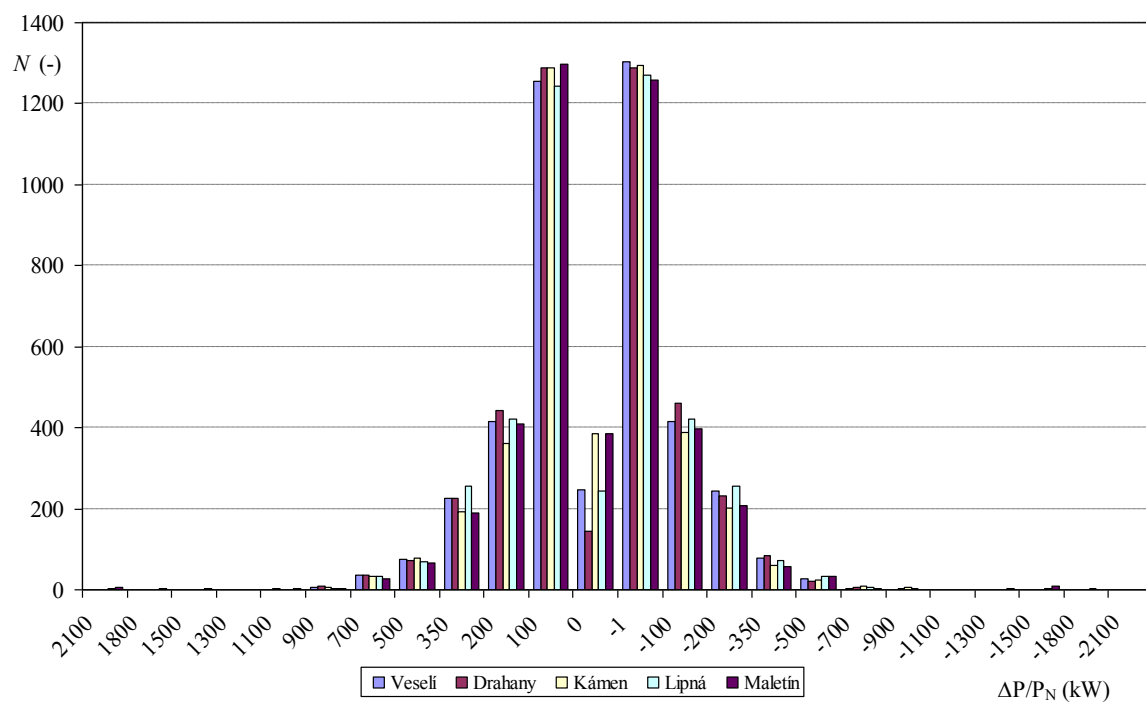
Pro podrobnější porovnání jsou níže vykresleny grafy na obrázcích 26 až 29, kde jsou jednotlivé měsíce, všech pěti VTE, porovnány mezi sebou. U prvních dvou grafů jsou osy vyjádřeny v %. U dalších dvou jsou osy x definovány absolutními změnami výkonu o velikosti 100 kW až do výše instalovaného výkonu a osy y vyjadřují konkrétní počty změn za jednotlivé měsíce. Uvedeny jsou pouze čtyři grafy, zbylých dvacet je umístěno v příloze.



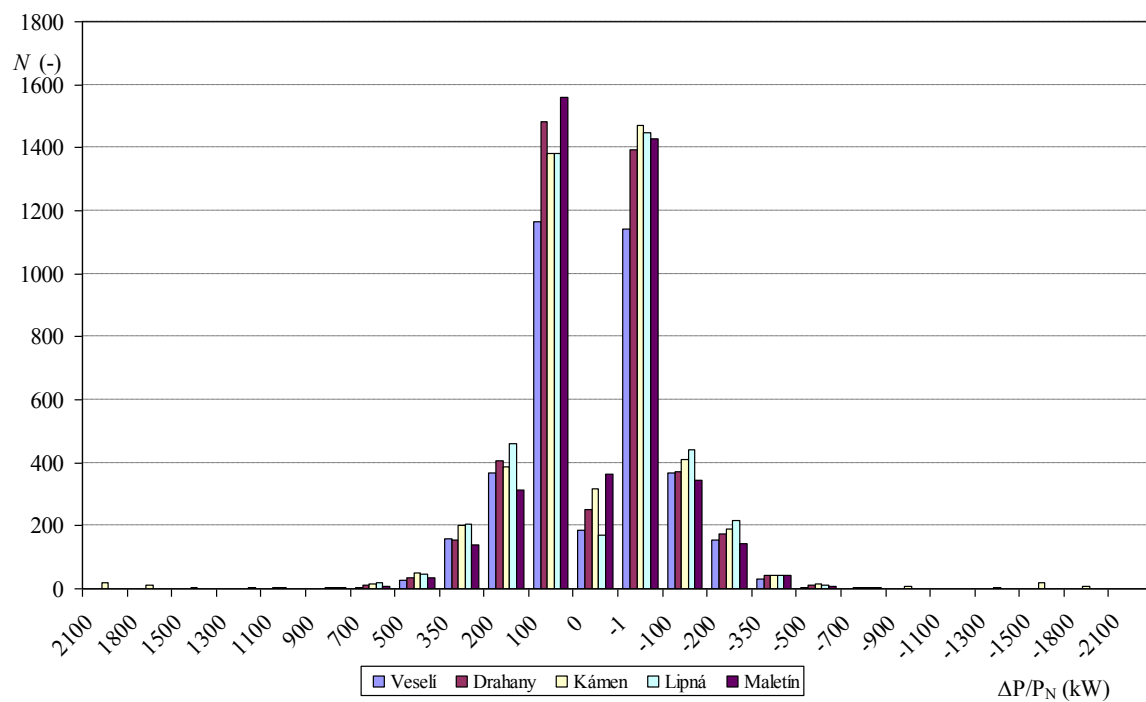
Obrázek 26 Procentuální vyjádření změn výkonů 5 VTE za měsíc Červen



Obrázek 27 Procentuální vyjádření změn výkonů 5 VTE za měsíc Leden



Obrázek 28 Variability výkonu 5 VTE za měsíc Červen



Obrázek 29 Variability výkonu 5 VTE za měsíc Leden

V následujících tabulkách 4 a 5 jsou uvedena data pro srovnání všech pět analyzovaných větrných elektráren, vyjadřující celkový počet změn výkonu v průběhu sledovaného časového intervalu. Jeden rok má přes padesát tisíc těchto desetiminutových úseků. V tabulce 4 jsou tyto úseky rozděleny podle toho, jak velké změně dodávaného výkonu došlo. Nejčastěji dochází k nárůstu či poklesu výkonu do 100 kW a překvapivě často se výkon vůbec nemění, což může být způsobeno také tím, že časový interval je relativně dlouhý a naměřená hodnota výkonu se v průběhu deseti minut může několikrát změnit a poté se ustálit zpět na hodnotu jaká byla na začátku intervalu. Výkon, ale zůstává neměnný převážně z důvodu, že rychlost větru nedosáhla startovacích rychlostí nebo naopak překročila tuto rychlost větru mez bezpečnosti a dalším častým důvodem jsou poruchové stavy. V tabulce 5 je toto rozdělení počtu změn provedeno procentuálně, kde hodnota například 10 % znamená změnu výkonů od 0 do 220 kW.

Počet měn za sledované období 5VTE					
kW	Veselí	Drahany	Kámen	Lipná	Maletín
2100	2	12	81	15	78
1800	1	6	34	14	43
1500	6	4	10	7	21
1300	6	10	10	12	16
1100	17	22	16	19	18
900	51	39	55	46	48
700	242	214	197	234	205
500	612	566	617	600	541
350	2115	2011	2075	2298	1773
200	4434	4357	4157	4644	3928
100	16965	17374	16471	16603	17512
0	3091	3707	5184	3371	4948
-1	16882	17213	16682	16939	17194
-100	4470	4397	4243	4662	3924
-200	2334	2092	2083	2376	1870
-350	596	588	620	644	556
-500	182	189	210	205	196
-700	41	42	42	49	57
-900	12	19	31	13	21
-1100	6	8	7	9	11
-1300	3	5	14	15	19
-1500	6	7	75	13	60
-1800	0	5	31	6	52
-2100	0	0	0	0	0

Tabulka 4 Počet změn výkonu za sledované období 5 VTE

Procentuální vyjádření změn výkonu 5 VTE						
kW	%	Veselí	Drahany	Kámen	Lipná	Maletín
2200	100	0,00	0,00	0,08	0,01	0,06
1980	90	0,00	0,02	0,10	0,03	0,11
1760	80	0,00	0,01	0,04	0,02	0,05
1540	70	0,01	0,01	0,02	0,01	0,05
1320	60	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
1100	50	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03
880	40	0,14	0,12	0,13	0,12	0,13
660	30	0,73	0,66	0,64	0,73	0,60
440	20	4,00	3,72	3,96	4,24	3,38
220	10	42,02	41,91	39,75	41,14	41,07
0	0	5,93	7,01	9,83	6,40	9,35
-1	-1	41,95	41,73	40,33	41,90	40,55
-220	-10	4,32	3,91	3,93	4,38	3,44
-440	-20	0,65	0,59	0,69	0,68	0,65
-660	-30	0,10	0,11	0,11	0,12	0,14
-880	-40	0,03	0,04	0,07	0,03	0,05
-1100	-50	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
-1320	-60	0,01	0,01	0,04	0,03	0,04
-1540	-70	0,01	0,01	0,09	0,02	0,09
-1760	-80	0,00	0,01	0,07	0,01	0,10
-1980	-90	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02
-2200	-100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 5 Procentuální vyjádření změn výkonu 5VTE

## **5 Závěr**

Cílem této bakalářské práce byla analýza fluktuace výkonu pěti vybraných větrných elektráren, neboli analýza četnosti změn dodávaného činného výkonu za sledovaný časový interval, v průběhu celého roku 2011 a to VTE Kámen, Lipná, Veselí u Oder, Maletín a Drahany.

Z hlediska větru, je veškerý větrný potenciál České republiky převážně soustředěn v horských oblastech po obvodu hranic. I kdyby se nám ho v budoucnu podařilo plně využít, tak by získána energie, až 3000 GWh, byla v porovnání s celkovou vyrobenou elektrickou energií v České republice zanedbatelná. Jelikož se bude vždy jednat o doplňkový zdroj elektrické energie, bude při zhodnocení dosažených výsledků, brán na tento fakt zřetel.

Co se týče samotné analýzy fluktuace výkonu výše zmíněných větrných elektráren, je nutno podotknout, že všechny elektrárny jsou stejného typu, a to VESTAS V90 s instalovaným výkonem 2 MW. A dále jsou tyto větrné elektrárny relativně blízko u sebe, co se týče proudění vzduchu v Evropě, a proto jsou výsledné grafy a tabulky této analýzy pěti elektráren do značné míry velmi podobné.

Z obrázku 19 vyplývá, že rychlost větru je nejvyšší v zimních měsících a to od začátku měsíce listopadu do konce měsíce února, kdy se rychlost pohybovala v rozmezí 7 – 9 m/s. Od uvedeného měsíce února rychlost větru klesá k nejnižší hodnotě v měsíci srpnu, a to k hodnotě 5,5 m/s, což je u tohoto typu větrné elektrárny téměř startovací rychlost. Poté rychlost větru opět pozvolně vzrůstá k nejvyšším naměřeným hodnotám. Z grafu je dále patrné, že průměrné rychlosti větru v jednotlivých měsících a lokalitách Kámen, Lipná, Veselí, Drahany, Maletín se různí v konkrétních hodnotách, ale v širším nahlédnutí je průměrná rychlost v této oblasti téměř stejná, což potvrzuje předpoklad předchozího odstavce.

Objem dodávané elektrické energie se mění v závislosti na změnách rychlosti větru, stejně tak se mění i četnost změn dodávky činného výkonu v průběhu roku. Z fyzikálního principu fungování větrné elektrárny, kdy je výkon přímo úměrný velikosti rychlosti větru, vyplývá, že vyšší četnost změn se předpokládá v letních měsících, naopak v zimních měsících se předpokládá stabilnější výroba.

Vždy více než 90 % změn výkonu je v rozmezí 0 až 100 kW. Příčinou takto vysoké hodnoty je vhodně zvolený časový interval. Kdyby byl tento časový interval například 30 minut, počet změn by byl v tomto rozmezí výrazně nižší a naopak pro minutový interval podstatně vyšší.

Na závěr bych dodal, že zadanou bakalářskou prací na téma, analýza fluktuace výkonu obnovitelných zdrojů energie, se mi podařilo úspěšně vypracovat a všechny dosažené výsledky byly předpokládány.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Petr Mastný, Jiří Drápela, Stanislav Mišák, Jan Macháček, Michal Ptáček, Lukáš Radil, Tomáš Bartošík, Tomáš Pavelka. Obnovitelné zdroje elektrické energie. ČVUT v Praze. Praha 2011. 257 stran
- [2] Aktuální instalace. ČSVE: Česká společnost pro větrnou energii [online]. 19. 3. 2012, [cit. 25. 1. 2013]. Dostupný z: <http://www.csve.cz/clanky/aktualni-instalace-vte-cr/120>
- [3] Jiří Procházka, Pavlína Linhartová, Marie Šnóblová. Větrný park. EKOAUDIT, spol. s r.o., Brno. Brno Prosinec 2008. 63 stran
- [4] Generátor větrné elektrárny. ČSVE: Česká společnost pro větrnou energii [online]. 8. 1. 2011, [cit. 25. 1. 2013]. Dostupný z: <http://www.csve.cz/clanky/aktualni-instalace-vte-cr/120http://www.csve.cz/cz/clanky/generator-vetrne-elektrarny/329>
- [5] VESTAS. V90-1,8 MW a 2,0 MW Stavíme na zkušenostech [online]. 2007, [cit. 17. 12. 2012]. Dostupné z: <http://www.niko-brno.cz/index.php?page=vyrobní-rada>
- [6] VESTAS. Naměřená data. 2011. Dostupné z: <http://www.vestas-weaonline.de/>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Vztlakové motory a) jednolisté s protizávažím b) dvoulisté c) třílisté .....	12
Obrázek 2 Synchronní generátor VTE o výkonu 2 MW. Generované jmenovité napětí 6,3 kV. ....	13
Obrázek 3 Konstrukce moderní větrné elektrárny .....	14
Obrázek 4 Regulace otáček rotoru pro a) bezpečné rychlosti b) vysoké rychlosti c) mezní rychlosti	15
Obrázek 5 Princip regulace PITCH, STALL, ACTIVE-STALL .....	16
Obrázek 6 Větrná mapa ČR .....	18
Obrázek 8 Větrná elektrárna Kámen .....	20
Obrázek 7 Větrná elektrárna Drahaný vyznačená na mapě .....	20
Obrázek 10 Větrná elektrárna Drahaný .....	21
Obrázek 9 Větrná elektrárna Drahaný vyznačená na mapě ČR .....	21
Obrázek 12 Větrná elektrárna Lipná .....	22
Obrázek 11 Větrná elektrárna Lipná vyznačená na mapě ČR .....	22
Obrázek 14 Větrná elektrárna Maletín .....	23
Obrázek 13 Větrná elektrárna Maletín vyznačená na mapě ČR .....	23
Obrázek 16 Větrná elektrárna Veselí u Oder .....	24
Obrázek 15 Větrná elektrárna Veselí vyznačená na mapě ČR .....	24
Obrázek 17 Průřez gondolou VESTAS V90-2,0 MW .....	25
Obrázek 18 Výkon [kW] větrné elektrárny v závislosti na rychlosti větru [m/s] .....	27
Obrázek 19 Rychlost větru v průběhu roku v jednotlivých lokalitách .....	28
Obrázek 20 Průměr rychlostí větru v jednotlivých měsících v lokalitě větrné elektrárny Kámen ...	29
Obrázek 21 Průměr rychlostí větru v jednotlivých měsících v lokalitě větrné elektrárny Lipná .....	30
Obrázek 22 Procentuální vyjádření změn výkonu Veselí u Oder za rok 2011 .....	31
Obrázek 23 Četnost změn výkonů VTE Veselí u Oder pro jednotlivé měsíce v rozsahu $\pm 100\%$ ..	32
Obrázek 24 Procentuální vyjádření změn výkonu Maletín za rok 2011 .....	32
Obrázek 25 Četnost změn výkonů VTE Maletín pro jednotlivé měsíce v rozsahu $\pm 100\%$ .....	33
Obrázek 26 Procentuální vyjádření změn výkonů 5 VTE za měsíc Červen .....	34
Obrázek 27 Procentuální vyjádření změn výkonů 5 VTE za měsíc Leden .....	34
Obrázek 28 Variability výkonu 5 VTE za měsíc Červen .....	35
Obrázek 29 Variability výkonu 5 VTE za měsíc Leden .....	35



## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Instalovaný výkon a výroba v jednotlivých letech [2].....	19
Tabulka 2 Technické parametry VESTAS V90 - 2 MW [3] .....	26
Tabulka 3 Výkony v kW pro jednotlivé rychlosti větru v m/s .....	27
Tabulka 4 Počet změn výkonu za sledované období 5 VTE .....	36
Tabulka 5 Procentuální vyjádření změn výkonu 5VTE .....	37

## **PŘÍLOHA**

### **OBSAH**

**I. DYNAMIKA VARIABILITY ČINNÉHO VÝKONU VTE VESELÍ U ODER**

**II. DYNAMIKA VARIABILITY ČINNÉHO VÝKONU VTE KÁMEN**

**III. DYNAMIKA VARIABILITY ČINNÉHO VÝKONU VTE DRAHANY**

**IV. DYNAMIKA VARIABILITY ČINNÉHO VÝKONU VTE MALETÍN**

**V. DYNAMIKA VARIABILITY ČINNÉHO VÝKONU VTE LIPNÁ**

**VI. SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCŮ 5 VTE V %**

ÚNOR

DUBEN

KVĚTEN

ČERVENEC

SRPEN

ZÁŘÍ

ŘÍJEN

LISTOPAD

PROSINEC

**VII. SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCŮ 5 VTE**

ÚNOR

BŘEZEN

DUBEN

KVĚTEN

ČERVENEC

SRPEN

ZÁŘÍ

ŘÍJEN

LISTOPAD

PROSINEC

Jednotlivé grafy jsou uvedeny v příloze na přiloženém CD.